

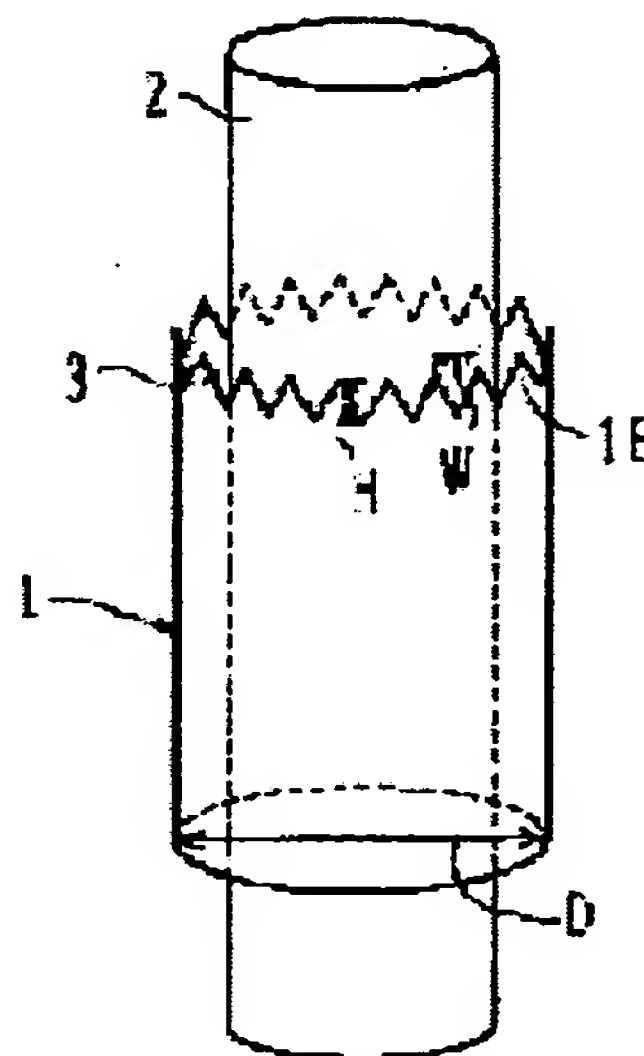
SPACER FOR NUCLEAR REACTOR FUEL ASSEMBLY AND THE SAME ASSEMBLY

Patentnummer: JP7225291
Publiceringsdag: 1995-08-22
Uppfinnare: KAWASAKI TERUFUMI; NISHIDA KOJI; NAGAYOSHI TAKUJI; HIDAKA MASATAKA; KASHIWAI SHINICHI; ORII AKIHITO
Sökande: HITACHI LTD
Klasser:
-internationell: G21C3/344; G21C3/34; (IPC1-7): G21C3/344
-europeisk:
Ansökningsnummer: JP19940017350 19940214
Prioritetsnummer: JP19940017350 19940214

Report a data error here

Sammandrag från JP7225291

PURPOSE: To provide a spacer for a nuclear reactor fuel assembly and the assembly in which a critical power is improved without increasing a pressure loss by preventing scattering of a liquid film on a surface of a fuel rod, expediting adherence of a fuel rod of liquid droplet from a surface liquid film of a cell and increasing a thickness of the film on the surface of the rod. **CONSTITUTION:** A round cell 11 is provided with substantially triangular cutouts 3, formed with sixteen protrusions 1B in a circumferential direction, and a downstream side end face is formed in a waveform shape. The relationship of $H \geq \pi XD/N$ exists among an outer diameter D of the cell 1, the depth H of the cutouts 3 and number N of the protrusions 1B. Thus, a liquid film moving from below to above on a surface of the cell 11 undergoes fission to right and left at a bottom of the cutouts 3, and is collected to the protrusions 1B. When the film flies out from the cell 11 into gas to be shrunk to become liquid yarns, more films spring out from the protrusions 1B, and hence many fine liquid yarns are generated to expedite fine granulation of the liquid droplets. Accordingly, a quantity of the droplets adhered to the surface of a fuel rod 2 from the surface of the cell 1 is increased, and a thickness of the film on the surface of the rod 2 can be increased.



Data från *esp@cenet* databasen - Worldwide

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号 庁内整理番号 F I 技術表示箇所
G 2 1 C 3/344

G 2 1 C 3/ 34 R

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平6-17350

(22) 出願日 平成6年(1994)2月14日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 河崎 照文

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72) 発明者 西田 浩二

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72) 発明者 永吉 拓至

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(74) 代理人 弁理士 春日 譲

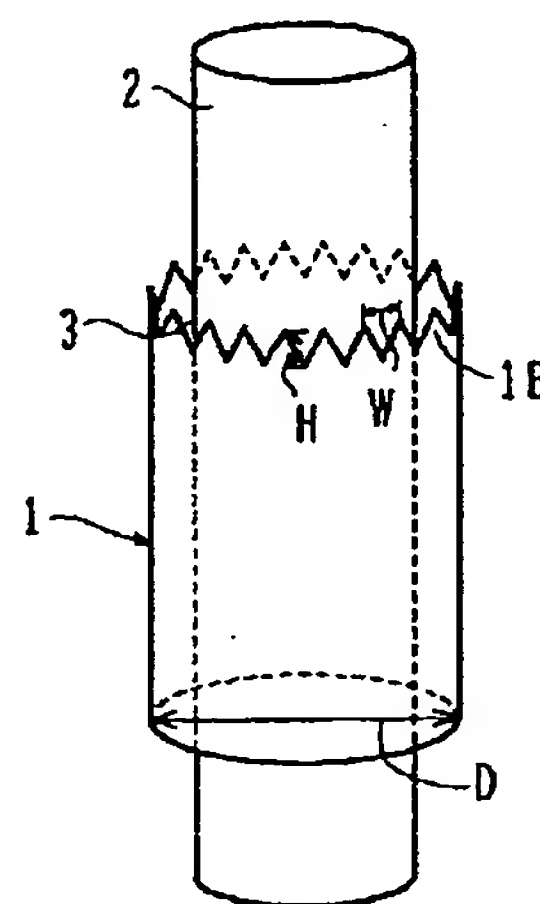
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 原子炉燃料集合体用スペーサ及び燃料集合体

(57) 【要約】

【目的】 燃料棒表面の液膜の飛散を防止しセル表面液膜からの液滴の燃料棒付着を促進し燃料棒表面液膜を厚くすることにより、圧損を増加させることなく限界出力を向上させる原子炉燃料集合体用スペーサ及び燃料集合体を提供する。

【構成】 丸セル1は略三角形の切り込み3が設けられて周方向に16個の凸部1Bが形成され下流側端面は波形状となっている。また丸セル1の外径D、切り込み3の深さH、凸部1Bの数Nの間には $H \geq \pi \times D / N$ の関係がある。これにより、丸セル1の表面を下方から上方へと移動する液膜は切り込み3の底で左右に分裂して凸部1Bに集まる。液膜が丸セル1から気体中に飛び出して収縮し液系となる際には、凸部1Bからより多くの液膜が飛び出すので細い液系を多数発生させて、液滴の微粒化を促進できる。よって丸セル1の表面から燃料棒2表面に付着する液滴の量を多くし、燃料棒2表面の液膜を厚くすることができる。



1: 丸セル
1B: 凸部 (液膜分裂手段)
2: 燃料棒
3: 切り込み
D: 丸セルの径
H: 切り込みの深さ
W: 切り込みの幅

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の燃料棒を備えた原子炉燃料集合体に設けられ、前記複数の燃料棒のそれぞれが挿入される複数のセルを有し、前記複数の燃料棒のそれぞれを互いに一定間隔に保持する原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、

前記複数のセルの少なくとも1つに、そのセルの表面を流れる冷却材の液膜を分裂させる液膜分裂手段を設けたことを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項2】 請求項1記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記液膜分裂手段は、前記少なくとも1つのセルの軸方向に流れる液膜の流れを、周方向に複数個の流れに分割する手段であることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項3】 請求項2記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルは水平断面が円形の丸セルであり、その丸セルの下流側端面は、複数の切り込みが設けられ周方向に少なくとも16個以上の凸部が形成されていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項4】 請求項3記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記複数の切り込みのそれぞれの形状は略三角形であって前記少なくとも1つのセルの下流側端面は波型形状に形成されており、前記丸セルの外径をD、前記凸部の数をN、前記切り込みの深さをHとしたとき、

$$H \geq \pi \times D / N$$

であるように構成することを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項5】 請求項3記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記複数の切り込みのそれぞれの形状は略矩形であって前記少なくとも1つのセルの下流側端面は櫛型形状に形成されており、前記丸セルの外径をD、前記凸部の数をN、前記切り込みの深さをHとしたとき、

$$H \geq 0.5 \times \pi \times D / N$$

であるように構成することを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項6】 請求項2記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルは水平断面が正方形の格子状セルであり、その格子状セルの下流側端面は、複数の切り込みが設けられ互いに2mm未満の中心線間隔で凸部が形成されていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項7】 請求項6記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記複数の切り込みのそれぞれの形状は略三角形であって前記少なくとも1つのセルの下流側端面は波型形状に形成されており、前記複数の切り込みのそれぞれの深さは2mm以上で前記少なくとも1つのセルの流れ方向の長さの1/2より小さいことを特徴とす

る原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項8】 請求項6記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記複数の切り込みのそれぞれの形状は略矩形であって前記少なくとも1つのセルの下流側端面は櫛型形状に形成されており、前記複数の切り込みのそれぞれの深さは1mm以上で前記少なくとも1つのセルの流れ方向の長さの1/2より小さいことを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項9】 請求項2記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルの側面に、周方向一列に複数個の突起が設けられていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項10】 請求項2記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルの側面に、周方向一列に少なくとも16個以上の突起が設けられていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項11】 請求項9又は10記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記突起のそれぞれの、セルの側面に切り込みを入れ、そのセルの内側から押し出されることにより形成されていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項12】 請求項1記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記液膜分裂手段は、前記少なくとも1つのセルの側面のうち少なくとも下流側部分を、冷却材の流れ方向に凹凸が繰り返される形状に形成する手段であることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項13】 請求項1～3、6、9、10、12のいずれか1項記載の原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルの側面は疎水性材料でコーティングされていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサ。

【請求項14】 請求項1～3、6、9、10、12、13のいずれか1項記載の原子炉燃料集合体用スペーサを有する燃料集合体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、原子炉の燃料集合体に係わり、特に、燃料棒を保持する原子炉燃料集合体用スペーサ及びそのスペーサを備えた燃料集合体に関する。

【0002】

【従来の技術】 一般に、原子炉炉心に装荷される燃料集合体においては、その長手方向の複数箇所に燃料棒を保持するスペーサが設けられている。近年、燃料集合体内に配置されたスペーサが、冷却材の気液2相流の流れ場に影響を与え、ひいては燃料棒表面における熱伝達を促進して燃料集合体の限界出力を向上させ得ることが明らかになっている。このためのスペーサの構造に関し、

(A) 遠心力を利用することにより燃料棒表面の気泡を除去するもの、(B) 遠心力を利用することにより燃料棒表面の液膜を厚くするもの、(C) 冷却材流れの向き

を変えることにより燃料棒表面の液膜を厚くするもの、
(D) 冷却材流れの向きを変えることにより燃料棒表面の液膜が局所的に薄くなるのを防止するもの、が提唱されており、具体的には、例えば以下の公知技術例がある。

【0003】①特公昭55-38638号公報
この公知技術は、上記(A)に分類されるもので、スペーサのセル上端を切り込み交互に内側・外側に折り曲げて乱流発生材とし、冷却材の流れに乱流を発生させることにより、加圧水型原子炉のように冷却材が気泡を伴う流れである場合に燃料棒まわりの気泡を除去するものである。

【0004】②特開平2-285286号公報
この公知技術は、上記(B)に分類されるもので、スペーサのセル側壁に斜めに突出したペーンを設け、セルの外側を通過する冷却材に燃料棒表面に向かう旋回流を生じさせることにより、燃料棒表面の液膜を厚くするものである。

【0005】③特開平4-236394号公報
この公知技術は、上記(B)に分類されるもので、スペーサのセル上端部にペロー状折曲部を設け、セルの外側を通過する冷却材に燃料棒表面に向かう旋回流を生じさせることにより、燃料棒表面の液膜を厚くするものである。

【0006】④特開平4-32795号公報
この公知技術は、上記(C)に分類されるもので、スペーサのセルの上端を内側に折り曲げ、セルの内側を通過する液滴を燃料棒表面に強制的に吹き付けることにより、燃料棒表面の液膜を厚くするものである。

【0007】⑤特開平5-157871号公報
この公知技術は、上記(D)に分類されるもので、スペーサのセル上端又は下端に周方向4カ所以上に離散的に切欠き形状の切片を設け、冷却材流路の局所圧力損失を低減することにより、燃料棒表面を流れている液膜が局所的にくびれて薄くなることを防止するものである。

【0008】
【発明が解決しようとしている課題】しかしながら、上記公知技術には、以下の課題が存在する。すなわち、燃料棒間を気泡を伴う液体の冷却材が流れる加圧水型原子炉の場合と異なり、沸騰水型原子炉の場合、燃料棒間を流れる冷却材は噴霧状となっており、その限界出力は、噴霧中の液滴が燃料棒表面に付着して形成される液膜の厚さが厚いほど大きくなる。

【0009】ここで、公知技術①を沸騰水型原子炉に適用した場合には、スペーサ上端付近の流れが乱流となって噴霧状の冷却材流れに大きな乱れが与えられるので、燃料棒表面の液膜が飛散して薄くなり、かえって限界出力を低下させる。また乱流発生材が冷却材流路の障害物となるので、圧力損失が増大する。また公知技術②③においては、セルに設けられたペーン又はペロー状折曲部

が冷却材流路に突出するので圧力損失の低減が困難であり、また上記①同様、噴霧状の冷却材流れに乱れを与えるので、燃料棒表面の液膜が飛散し薄くなるのを防止することが難しい。さらに公知技術④においては、セル上端において冷却材流路が急激に絞られるので圧力損失の増加が著しい。また公知技術⑤においては、圧力損失の増加を防止し、また燃料棒表面の液膜の飛散を防止できるものの、セル表面の液膜から飛散する液滴を活用し、燃料棒表面の液膜をさらに積極的に厚くすることについては考慮されていない。

【0010】本発明の目的は、燃料棒表面の液膜の飛散を防止しつつセル表面の液膜から飛散する液滴の燃料棒への付着を促進して燃料棒表面の液膜を厚くすることにより、圧力損失をほとんど増加させることなく限界出力を向上させる原子炉燃料集合体用スペーサ及び燃料集合体を提供することである。

【0011】
【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明によれば、複数の燃料棒を備えた原子炉燃料集合体に設けられ、前記複数の燃料棒のそれぞれが挿入される複数のセルを有し、前記複数の燃料棒のそれぞれを互いに一定間隔に保持する原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記複数のセルの少なくとも1つに、そのセルの表面を流れる冷却材の液膜を分裂させる液膜分裂手段を設けたことを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0012】好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記液膜分裂手段は、前記少なくとも1つのセルの軸方向に流れる液膜の流れを、周方向に複数の流れに分割する手段であることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0013】また好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルは水平断面が円形の丸セルであり、その丸セルの下流側端面は、複数の切り込みが設けられ周方向に少なくとも16個以上の凸部が形成されていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0014】さらに好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記複数の切り込みのそれぞれの形状は略三角形であって前記少なくとも1つのセルの下流側端面は波型形状に形成されており、前記丸セルの外径をD、前記凸部の数をN、前記切り込みの深さをHとしたとき、

$$H \geq \pi \times D / N$$

であるように構成することを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0015】また好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記複数の切り込みのそれぞれの形状は略矩形であって前記少なくとも1つのセルの下流側端面は櫛型形状に形成されており、前記丸セルの外径を

D、前記凸部の数をN、前記切り込みの深さをHとしたとき、

$$H \geq 0.5 \times \pi \times D / N$$

であるように構成することを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0016】さらに好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルは水平断面が正方形の格子状セルであり、その格子状セルの下流側端面は、複数の切り込みが設けられ互いに2mm未満の中心線間隔で凸部が形成されていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0017】また好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記複数の切り込みのそれぞれの形状は略三角形であって前記少なくとも1つのセルの下流側端面は波形状に形成されており、前記複数の切り込みのそれぞれの深さは2mm以上で前記少なくとも1つのセルの流れ方向の長さの1/2より小さいことを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0018】さらに好ましくは、前記複数の切り込みのそれぞれの形状は略矩形であって前記少なくとも1つのセルの下流側端面は櫛形状に形成されており、前記複数の切り込みのそれぞれの深さは1mm以上で前記少なくとも1つのセルの流れ方向の長さの1/2より小さいことを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0019】また好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルの側面に、周方向一列に複数の突起が設けられていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0020】さらに好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルの側面に、周方向一列に少なくとも16個以上の突起が設けられていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0021】また好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記突起のそれぞれは、セルの側面に切り込みを入れ、そのセルの内側から押し出されることにより形成されていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0022】さらに好ましくは、前記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記液膜分裂手段は、前記少なくとも1つのセルの側面のうち少なくとも下流側部分を、冷却材の流れ方向に凹凸が繰り返される形状に形成する手段であることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0023】また好ましくは、上記原子炉燃料集合体用スペーサにおいて、前記少なくとも1つのセルの側面は疎水性材料でコーティングされていることを特徴とする原子炉燃料集合体用スペーサが提供される。

【0024】さらに上記目的を達成するために、本発明

によれば、上記原子炉燃料集合体用スペーサを有する燃料集合体が提供される。

【0025】

【作用】一般に、セル側面に付着した冷却材の液膜は下流側へと流れ、セル下流側端面から気体中に飛び出した直後は液膜状態を維持しているが、その後表面張力のため収縮して複数の液系になる。そしてこの液系はさらに下流でくびれて液滴となる。本発明においては、セル表面を流れる冷却材液膜を分裂させる液膜分裂手段をセルに設けたことにより、液膜がセルから気体中に飛び出す前のまだセル表面を流れている状態においてあらかじめ液膜を分裂させるので、セルから気体中に飛び出して収縮し液系となる際にこの分裂した液膜を核として収縮が行われ液系が形成される。よって、細い液系を多数発生させることができ、結果として小さな液滴を多数生じさせることができる。すなわち液滴の微粒化を促進することができる。ここで、燃料棒間を気流に乗って流れる液滴のうち粒径の小さなものは、気流中に存在する多数の小さな渦により、主流に対し横方向すなわち燃料棒方向へ運ばれて燃料棒に付着するが、この傾向は液滴の粒径が小さいほど大きい。よってセル表面の液膜から飛散して燃料棒表面に付着する液滴の量が多くなり、燃料棒表面の液膜を厚くすることができる。このとき冷却材流れに大きな乱れを与えず燃料棒表面の液膜の飛散を防止でき、また冷却材流路の障害物とならないので圧力損失は増加しない。

【0026】液膜分裂手段は、セルの軸方向に流れる液膜の流れを、周方向に複数の流れに分割する手段であることにより、幅の細い液系を周方向に多数発生させ、液滴の微粒化促進を実現することができる。また、水平断面が円形の丸セルの下流側端面に複数の切り込みを設けて凸部を形成することにより、丸セルの表面を下流側へと移動する液膜は凹部である切り込みの底で左右に分裂して凸部に集まり、凸部からはより多くの液膜が飛び出しこれを核として収縮が行われ液系が形成されるので細い液系を多数発生させることができる。そしてこのとき周方向に少なくとも16個以上の凸部を形成することにより、16本以上の液系を発生させることができ、6本～15本であった従来に比しより細い液系を発生させて液滴の微粒化を促進させることができる。さらに、複数の切り込みの形状を略三角形として丸セルの下流側端面を波形状に形成し、丸セルの外径をD、凸部の数をN、切り込みの深さをHとしたとき、 $H \geq \pi \times D / N$ であるように構成する。すなわち、略三角形の切り込みを入れた波形状の場合、丸セル下流側端面の全周 $\pi \times D$ が凹部である切り込みN個の幅の合計に等しくなるので、1つの切り込みの幅は $\pi \times D / N$ となる。もし切り込みの深さHがこの切り込みの幅 $\pi \times D / N$ よりも小さければ、表面張力等の影響により液膜が十分に分裂されず液滴の微粒化促進が図れないおそれがあるが、切り込

みの深さHがこの切り込みの幅 $\pi \times D / N$ 以上であることにより、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進が図れる。また、複数の切り込みの形状を略矩形として丸セルの下流側端面を櫛型形状に形成し、丸セルの外径をD、凸部の数をN、切り込みの深さをHとしたとき、 $H \geq 0.5 \times \pi \times D / N$ であるように構成する。すなわち上記波型の場合と異なり、櫛型の場合凸部もある幅を有するので、1つの凸部の幅と1つの凹部の幅を同一とし丸セル下流側端面の全周 $\pi \times D$ を凸部の幅と凹部の幅とで2等分すると、凸部1つの幅は $0.5 \times \pi \times D / N$ となり、凹部である切り込みの幅も $0.5 \times \pi \times D / N$ となる。もし切り込みの深さHがこの切り込みの幅 $0.5 \times \pi \times D / N$ よりも小さければ、表面張力等の影響により液膜が十分に分裂されず液滴の微粒化促進が図れないおそれがあるが、切り込みの深さHがこの切り込みの幅 $0.5 \times \pi \times D / N$ 以上であることにより、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進が図れる。

【0027】さらに、水平断面が正方形の格子状セルの下流側端面に複数の切り込みを設けて凸部を形成することにより、上記丸セルの場合と同様凸部からはより多くの液膜が飛び出して液糸を生じるので細い液糸を多数発生させることができる。そしてこのとき互いに2mm未満の中心線間隔で凸部を形成することにより、2mm～5mm間隔だった従来の液糸よりもより小さな間隔で多数の液糸を発生させ、液滴の微粒化を促進することができる。また、複数の切り込みの形状を略三角形として格子状セルの下流側端面を波型形状に形成し、切り込みの深さが2mm以上でセルの流れ方向の長さの $1/2$ より小さいように構成する。すなわち、略三角形の切り込みを入れた波型形状の場合、凸部の中心線間隔が凹部である切り込みの幅に等しくなるので、1つの切り込みの幅は2mm未満となる。もし切り込みの深さHがこの切り込みの幅よりも小さければ、表面張力等の影響により液膜が十分に分裂されず液滴の微粒化促進が図れないおそれがあるが、切り込みの深さHが2mm以上であることにより切り込みの幅よりも常に大きく、よって液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進が図れる。また切り込みの深さがあまり大きすぎるとセルの強度上の問題が生じるが、セルの流れ方向の長さの $1/2$ より小さいように構成することにより、セルの強度を確保できる。さらに、複数の切り込みの形状を略矩形として格子状セルの下流側端面を櫛型形状に形成し、切り込みの深さを1mm以上でかつセルの流れ方向の長さの $1/2$ より小さくする。すなわち上記波型の場合と異なり、櫛型の場合凸部もある幅を有するので、1つの凸部の幅と1つの凹部の幅を同一とすると、凹部である切り込みの幅は凸部中心線間隔の $1/2$ となって1mm未満となる。ここでもし切り込みの深さHがこの切り込みの幅よりも小さければ、表面張力等の影響により液膜が十分に分裂されず液滴の微粒化促進が図れないおそれがあるが、切り込みの

深さHが1mm以上であることにより切り込みの幅よりも常に大きく、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進が図れる。また切り込みの深さがあまり大きすぎるとセルの強度上の問題が生じるが、セルの流れ方向の長さの $1/2$ より小さいように構成することにより、セルの強度を確保できる。

【0028】また、周方向一列に複数個の突起を設けることによっても、簡易な構造で液膜の流れを周方向に分割し液膜を分裂させる手段を実現できる。さらに、セルの側面に、周方向一列に少なくとも16個以上の突起を設けることにより、16本以上の液糸を発生させることができ、6本～15本であった従来に比しより細い液糸を発生させて液滴の微粒化を促進させることができる。また、突起のそれぞれは、セルの側面に切り込みを入れて内側から押し出されることにより形成されていることにより、形成される突起の高さはセルの直径に比し比較的小さいので圧力損失をほとんど増加させることなく、かつ簡易な構造で液膜の流れを周方向に分割し液膜を分裂させる手段を実現できる。さらに、液膜分裂手段として、セルの側面のうち少なくとも下流側部分を冷却材の流れ方向に凹凸が繰り返される形状に形成する手段を設けることにより、セル表面を流れる液膜は凹凸形状に従って周期的な変動が与えられ、波打った液膜となる。そして波打ったままセル下流側端面から気体中に飛び出していき、表面張力で収縮して液糸になった後下流でくびれて液滴となる。このとき、この液滴の径はこの波打ち波形の周期によってきまるので、セル側面の凹凸形状の周期を短くして液滴をより小さくし、微粒化を促進することができる。また、セルの側面を疎水性材料でコーティングすることにより、セルの表面が液膜をはじき、液膜分裂手段によって液膜が分裂しやすくする。

【0029】

【実施例】以下、本発明の実施例を図1～図18により説明する。本発明の第1の実施例を図1～図6により説明する。沸騰水型原子炉の燃料集合体の構造の一例を図2に示す。図2において、燃料集合体11は、複数本の燃料棒2と、1本の水ロッド13と、燃料棒2及び水ロッド13を正方格子状に束ねるスペーサ14とを備えている。

【0030】本実施例は、スペーサ14の丸セル（後述）に、丸セルの表面を流れる冷却材の液膜を分裂させる手段を設けることにより、丸セル表面の液膜から飛散する液滴の燃料棒2への付着を促進して燃料棒2表面の液膜を厚くし、燃料集合体11の限界出力を向上させるスペーサ14の構造に関するものである。以下、その詳細を説明する。

【0031】本実施例のスペーサ14の構造を図3に示す。スペーサ14は、複数の燃料棒2のそれぞれが挿入される複数の丸セル1と、丸セル1の一部分で形成される燃料棒2の固定支持点となるセルストップ1Aと、丸セ

ル1内にあって燃料棒を弾性的に支持するバネ材12と、水ロッド13を支持するプレート18a, bと、複数の丸セル1を正方格子状に束ねスペーサ4を形成するための外枠となるバンド19とを有する。上記構成により、スペーサ14は、複数の燃料棒2及び1本の水ロッド13を互いに一定の間隔に保持している。

【0032】丸セル1の構造を図1及び図4に示す。図1は1つの丸セル1の側面図であり、図4は4つの丸セル1の上面図である。なお、図1及び図4においては、丸セル1の構造の明確化のためにセルストップ1A及びバネ材12(図3参照)を省略して示している。

【0033】図1及び図4において、丸セル1は水平断面の形状が円形であり、また下流側(図1中では上側)端面は、略三角形の切り込み3が設けられて周方向に少なくとも16個の凸部1Bが形成されており、これによって下流側端面はギザギザの波型形状となっている。また、丸セル1の外径D、切り込み3の深さH、凸部1Bの数N(≥ 16)の間には、 $H \geq \pi \times D / N$ の関係が成立している。

【0034】次に、本実施例の作用を図5及び図6により説明する。一般に、セル側面に付着した冷却材の液膜はセル表面上を下流側へ(図中下方から上方へ)と流れる。そして、図5に示すように、セル下流側端面から気体中に飛び出した直後は液膜状態を維持しているが、その後表面張力により収縮して複数の液系になり、この液系がさらに下流でくびれて液滴となる。

【0035】本実施例においては、丸セル1表面を流れる冷却材液膜を分裂させる液膜分裂手段として、丸セル1に略三角形の切り込み3を設けて丸セル1の下流側端面を波型形状に形成する。これにより、丸セル1の表面を下方から上方へと移動する液膜は、波型の谷の部分にあたる切り込み3の底で左右に分裂して凸部1Bに集まる。そして、液膜が丸セル1から気体中に飛び出して収縮し液系となる際には、凸部1Bからより多くの液膜が飛び出しこれを核として収縮が行われ液系が形成されるので、細い液系を多数発生させることができる。よって小さな液滴を多数生じさせることができ、液滴の微粒化を促進することができる。ここにおいて、一般に、燃料棒の間を気流に乗って流れる液滴のうち、粒径の小さなものは気流中に存在する多数の小さな渦により主流に対し横方向すなわち燃料棒方向へ運ばれて燃料棒に付着する性質がある。これを図6に示す。液滴の粒径が小さいほどこのような挙動を示す傾向が強い。本実施例においては、上記のように液滴の微粒化が促進され液滴の粒径がより小さくなっているため、丸セル1の表面の液膜から飛散して燃料棒2表面に付着する液滴の量が多くなり、燃料棒2表面の液膜を厚くすることができる。このとき冷却材流れに大きな乱れを与えないので燃料棒2表面の液膜の飛散を防止でき、また冷却材流路の障害物とならないので圧力損失は増加しない。

【0036】また、丸セル1に周方向に少なくとも16個以上の凸部1Bを形成することにより、丸セル1の軸方向に流れる液膜の流れを周方向に16個以上の流れに分割し、16本以上の液系を発生させる。ここにおいて本願発明者等は、従来技術における丸セルの液膜の流れについて検討した結果、従来の丸セルからの液系は6本〜15本であることがわかった。よってすなわち本実施例の丸セル1においては、従来に比し細い液系をより多く発生させて液滴の微粒化を促進することができる。また丸セル1の外径D、凸部1Bの数N、切り込み3の深さHとの間で $H \geq \pi \times D / N$ の関係が成立している。すなわち、丸セル1の下流側端面に略三角形の切り込み3を入れて波型形状とした場合、丸セル1下流側端面の全周 $\pi \times D$ がN個の切り込み3の幅Wの合計に等しくなるので、1つの切り込み3の幅 $W = \pi \times D / N$ となる。もし切り込み3の深さHがこの切り込み3の幅Wよりも小さければ、表面張力等の影響により波型の谷の部分にあたる切り込み3の底で液膜が十分に左右に分裂されず、液滴の微粒化促進が図れないおそれがあるが、 $H \geq \pi \times D / N = W$ であることにより、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進を図ることができる。

【0037】以上説明したように、本実施例によれば、丸セル1表面を流れる冷却材液膜を分裂させる液膜分裂手段として、丸セル1に略三角形の切り込み3を設けて丸セル1の下流側端面を波型形状に形成するので、液膜が丸セル1表面を流れている状態においてあらかじめ液膜を分裂させ、液滴の微粒化を促進することができる。よって丸セル1の表面の液膜から飛散して燃料棒2表面に付着する液滴の量が多くなって燃料棒2表面の液膜を厚くすることができ、燃料集合体11の限界出力を向上させることができる。すなわち燃料集合体11の熱的余裕を増大できる。このとき冷却材流れに大きな乱れを与えないので燃料棒2表面の液膜の飛散を防止でき、また冷却材流路の障害物とならないので圧力損失は増加しない。

【0038】本発明の第2の実施例を図7〜図9により説明する。本実施例は、異なる形状のセルを備えたスペーサの実施例である。第1の実施例と同等の部材には同一の番号を付している。本実施例のスペーサ24の構造を図7に示す。本実施例のスペーサ24も、第1の実施例同様、1本の水ロッドを備えた燃料集合体において適用した例である(図2参照)。スペーサ24は、複数の燃料棒2のそれぞれが挿入される複数の格子状セル21と、燃料棒2を支持するバネ25a, b及びバネ26と、複数の格子状セル21を正方格子状に束ねスペーサ24を形成するための外枠となるバンド29とを有する。そしてスペーサ24は、上記構成により、複数の燃料棒2及び1本の水ロッド13を互いに一定の間隔に保持している。

【0039】格子状セル21の構造を図8及び図9に示

す。図8は4つの格子状セル21の上面図であり、図9は1つの格子状セル21の部分拡大図である。図8及び図9において、格子状セル21は水平断面の形状が正方形であり、また下流側（図9中では上側）端面は、略三角形の切り込み23が設けられて互いに中心線間隔2mm未満で凸部21Bが形成されており、これによって下流側端面はギザギザの波形形状となっている。また切り込み23の深さは2mm以上で、かつ格子状セル21の流れ方向の長さLの1/2より小さい。

【0040】以上のように構成した本実施例によれば、格子状セル21の下流側端面に切り込み23を設けて互いに2mm未満の中心線間隔で凸部21Bを形成するが、ここにおいて本願発明者等は、従来技術における格子状セルの液膜の流れについて検討した結果、従来の格子状セルからの液糸は2mm～5mmの間隔であることがわかった。本実施例の格子状セル21によれば、第1の実施例同様、凸部21Bからより多くの液膜が飛び出しこれを核として液糸が形成されるので、従来に比しより小さな間隔で多数の液糸を発生させることができる。よって液滴の微粒化を促進できる。また切り込み23の深さは2mm以上である。すなわち、格子状セル21の下流側端面に略三角形の切り込み23を入れて波型形状とした場合、凸部21Bの中心線間隔は凹部である切り込み23の幅Wに等しくなるので、切り込み23の幅Wは2mm未満となる。もし切り込み23の深さが切り込み23の幅Wよりも小さければ、表面張力等の影響によって波型の谷の部分にあたる切り込み23の底で液膜が十分に左右に分裂されず、液滴の微粒化が図れないおそれがあるが、切り込み23の深さは2mm以上であって切り込み23の幅Wよりも常に大きいので、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進を図ることができる。よって燃料集合体の限界出力を向上させることができ、すなわち燃料集合体の熱的余裕を増大できる。また凸部21Bの数によって液糸の数を調整し微粒化の程度を制御することができる。さらに切り込み23の深さがあまり大きすぎると格子状セル21の強度上の問題が生じるが、切り込み23の深さは格子状セル21の流れ方向の長さLの1/2より小さいので、格子状セル21の強度を確保できる。

【0041】本発明の第3の実施例を図10及び図11により説明する。本実施例は、第1の実施例と同様の丸セルに、異なる形状の切り込みを設けたスーパースペースの実施例である。第1及び第2の実施例と同等の部材には同一の番号を付している。本実施例のスーパースペースの丸セル31の構造を図10及び図11に示す。図10は4つの丸セル31の上面図であり、図11は1つの丸セル31の側面図である。なお、図10及び図11においては、第1の実施例を示した図1及び図4同様、丸セル31の構造の明確化のために燃料棒2を支持するセルストップ及びバネ材（図3参照）を省略して示している。

【0042】図10及び図11において、本実施例のスーパースペースが第1の実施例のスーパースペースと異なる点は、丸セル31の下流側端面に略矩形の切り込み33が設けられて互いに2mm未満の中心線間隔をもって少なくとも16個の凸部31Bが形成されており、これによって下流側端面は櫛型の形状となっていることである。またこのとき、丸セル31の外径D、切り込みの深さH、凸部の数N（ ≥ 16 ）の間には、 $H \geq 0.5 \times \pi \times D / N$ の関係が成立している。その他の構造は、第1の実施例のスーパースペース14とほぼ同様である。

【0043】以上のように構成した本実施例によれば、丸セル31に周方向に少なくとも16個以上の凸部31Bを形成するので、第1の実施例と同様に、従来に比し細い液糸をより多く発生させて液滴の微粒化を促進することができる。また、切り込み33の形状を略矩形として丸セル31の下流側端面を櫛型形状に形成し、丸セル31の外径をD、凸部の数をN、切り込みの深さをHとしたとき、 $H \geq 0.5 \times \pi \times D / N$ であるように構成する。ここですなわち、第1の実施例における波型の切り込み3の場合と異なり、櫛型の切り込みの場合は凸部31Bの先端も一定の幅を有するので、1つの凸部31Bの幅と1つの切り込み33の幅を同一幅Wとすると、丸セル31下流側端面の全周は $\pi \times D$ であるので、凸部31Bの1つの幅すなわち切り込み33の幅Wは $0.5 \times \pi \times D / N$ となる。もし切り込み33の深さHがこの切り込みの幅Wよりも小さければ、表面張力等の影響により液膜が十分に分裂されず液滴の微粒化促進が図れないおそれがあるが、本実施例の丸セル31によれば切り込みの深さHが切り込みの幅W（ $= 0.5 \times \pi \times D / N$ ）以上であるので、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進が図れる。また切り込み33が矩形であるので略三角形の場合に比し製作が容易でコストが低い。

【0044】なお、上記第3の実施例においては丸セル31に矩形の切り込み33を設けたが、第2の実施例と同様に格子状のセルに適用することもできる。この場合、上記第3の実施例と同様、矩形の切り込みでは凸部の先端も一定の幅を有することを考慮すれば、切り込みの深さは、1mm以上でかつ格子状セルの流れ方向の長さの1/2より小さくするのが好ましい。これにより、上記第3の実施例と同様、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進を図ることができる。また上記第3の実施例においては丸セル31に矩形の切り込み33を入れ矩形の凸部31Bを形成したが、凸部31Bの先端及び切り込み33の底を三角形状に加工しても良く、この場合もほぼ同様の効果を得る。

【0045】本発明の第4の実施例を図12及び図13により説明する。本実施例は、第1の実施例と同様の丸セルに、液膜分裂手段として微小な突起を設けたスーパースペースの実施例である。第1～第3の実施例と同等の部材には同一の番号を付している。本実施例のスーパースペースの丸セ

ル41の構造を図12及び図13に示す。図12は4つの丸セル41の上面図であり、図13は1つの丸セル41の側面図である。なお、第1の実施例の図1及び図4同様、図12及び図13においては、丸セル41の構造の明確化のために燃料棒2を支持するセルストップ及びバネ材を省略して示している。

【0046】図12及び図13において、本実施例のスペーサが第1の実施例のスペーサと異なる点は、切り込み3の代わりに、液膜分裂手段として、丸セル41の側面に、周方向一列に一定間隔で少なくとも16個以上の突起41Cが設けられていることである。突起41Cは、それぞれ、丸セル41の側面に三角形の切り込みを入れ、丸セル41の内側から押し出されることにより形成されている。その他の構造は第1の実施例のスペーサ14とほぼ同様である。

【0047】以上のように構成した本実施例によれば、丸セル41の側面に周方向一列に突起41Cを設けるので、丸セル41の表面を下方から上方へと移動する液膜は突起41Cにより左右に分裂し、突起41Cと突起41Cとの間に集められる。液膜が丸セル41から気体中に飛び出して収縮し液系となるときに、突起41Cと突起41Cの間の位置からはより多くの液膜が飛び出しこれを核として収縮が行われ液系が形成されるので、細かい液系を多数発生させることができ、小さな液滴を多数生じさせて液滴の微粒化を促進することができる。またこのとき、丸セル41に少なくとも16個以上の突起41Cを設けるので、16本以上の液系を発生させることができ、6本～15本の液系となっていた従来（第1の実施例の記述参照）に比しより細かい液系を発生させて液滴の微粒化を促進させることができる。また突起41Cのそれぞれは、丸セル41の側面に切り込みを入れて内側から押し出されることにより形成されているので、突起41Cの高さは丸セル41の直径に比し比較的小さい。よって圧力損失をほとんど増加させることなく、かつ簡易な構造で液膜の流れを周方向に分割し液膜を分裂させ液滴の微粒化を促進できる。さらに第1～第3の実施例のように、液膜分裂手段としてセルに切り込みを入れる場合に比し、セルの表面積が変わらないのでセルの強度を保つことができる。

【0048】なお、上記第4の実施例においては丸セル41に突起41Cを設けたが、第2の実施例のような格子状のセルに適用することもできる。この場合、第2の実施例で考察したように、突起を2mm未満の間隔で設けることが好ましく、これによって従来に比しより小さな間隔で多数の細かい液系を発生させ、液滴の微粒化を促進することができる。

【0049】本発明の第5の実施例を図14及び図15により説明する。本実施例は、第1の実施例と同様の丸セルに、液膜分裂手段として、丸セルの側面を凹凸形状に形成するスペーサの実施例である。第1～第4の実施

例と同等の部材には同一の番号を付している。本実施例のスペーサの丸セル51の構造を図14及び図15に示す。図14は1つの丸セル51の側面図であり、図15は丸セル51の部分縦断面図である。なお、第1の実施例の図1及び図4同様、図14及び図15においては、丸セル51の構造の明確化のために燃料棒2を支持するセルストップ及びバネ材を省略して示している。

【0050】図14及び図15において、本実施例のスペーサが第1の実施例のスペーサと異なる点は、切り込み3の代わりに、液膜分裂手段として、丸セル51の側面のうち少なくとも下流側部分が溝51Dを備えており冷却材の流れ方向に凹凸が繰り返される形状となっていることである。

【0051】その他の構造は第1の実施例のスペーサ14とほぼ同様である。

【0052】以上のように構成した本実施例によれば、液膜分裂手段として、丸セル51の側面のうち少なくとも下流側部分が、溝51Dによって冷却材の流れ方向に凹凸が繰り返される形状となっているので、丸セル51表面を流れる液膜はこの凹凸形状に従って周期的な変動が与えられ、波打った液膜となる。そして波打ったまま丸セル51下流側端面から気体中に飛び出していき、表面張力で収縮して液系になった後下流でくびれて液滴となる。このとき、この液滴の径はこの波打ち波形の周期によってきまるので、丸セル51側面の凹凸形状の周期を短くして液滴をより小さくすれば微粒化を促進することができる。また、第1～第3の実施例のように、液滴分裂手段としてセルに切り込みを入れる場合に比し、セルの表面積が変わらないのでセルの強度を保つことができる。

【0053】なお、上記第5の実施例においては丸セル51に溝51Dを設けて凹凸が繰り返される形状としたが、第2の実施例のような格子状のセルにも同様の溝を設けて同様の形状とすることができ、この場合も、同様の効果を得る。また、上記第1～第5の実施例においては、スペーサに備えられたセルの全てに冷却材の液膜を分裂させる手段を設けたが、これに限られず、スペーサの少なくとも1つのセルに設ければ、そのセルについて液滴の微粒化が促進されるので、結果として上記同様の燃料集合体の限界出力向上の効果を得ることができる。

さらに、上記第1～第5の実施例においては、1本の水ロッド13を備えた8×8配列の燃料集合体におけるスペーサの実施例について説明したが、これに限られず、セルを備えたスペーサであれば、水ロッドの有無や燃料棒の配列数にかかわらず上記第1～第5の実施例における構成を適用することができ、この場合も同様の効果を得る。また、上記第1～第5の実施例においては、スペーサのセルに冷却材の液膜を分裂させる手段を設けたが、これに加えて、そのセルの側面を疎水性材料でコーティングしてもよい。この場合には、セルの表面が液膜

をはじくので、液膜分裂手段によって液膜が分裂しやすくなる効果がある。

【0054】本発明の第6の実施例を図16～図18により説明する。本実施例は、上述した第1の実施例のスペーサ14を備えた燃料集合体の実施例である。本実施例の燃料集合体を図16及び図17に示す。図16は本実施例の燃料集合体の縦断面図であり、図17は本実施例の燃料集合体の横断面図である。第1～第5の実施例と同等の部材には同一の番号を付している。図16及び図17において、燃料集合体11は、複数本の燃料棒2と、1本の水ロッド13と、燃料棒2及び水ロッド13とを正方格子状に束ねるスペーサ14と、燃料棒2と水ロッド13との上下端を支持する上部タイプレート15及び下部タイプレート16とを有し、これらが角筒状のチャンネルボックス17で覆われた構造である。

【0055】スペーサ14の構造を図18に示す。第1～第5の実施例と同等の部材には同一の番号を付している。スペーサ14は、独立した単位セルを形成し燃料棒2を支持する複数の丸セル1と、丸セル1の一部分で形成され燃料棒2の固定支持点となるセルストップ1Aと、丸セル1内にあって燃料棒を弾性的に支持するバネ材12と、水ロッド13を支持するプレート18a、bと、複数の丸セル1を正方格子状に束ねスペーサ4を形成するための外枠となるバンド19とを有する。スペーサ14は、上記構成により、燃料棒2及び水ロッド13を所定の水平間隔に保持するとともに、これらが横方向に振動しないように拘束する役割をもつ。

【0056】本実施例の燃料集合体11によれば、第1の実施例のスペーサ14を備えているので、第1の実施例において述べたように、丸セル1表面の液膜から飛散する液滴の微粒化を促進して燃料棒2表面の液膜を厚くし、燃料集合体11の限界出力を向上させることができる。

【0057】なお、上記実施例においては、第1の実施例のスペーサ14を用いたが、第2～第5の実施例のスペーサでもよく、この場合についても各スペーサの同様の作用によって燃料集合体11の限界出力向上の効果をj得ることができる。

【0058】

【発明の効果】本発明によれば、セル表面を流れる冷却材液膜を分裂させる液膜分裂手段をセルに設けたので、液膜がセルから気体中に飛び出す前にあらかじめ液膜を分裂させて細い液糸を多数発生させ、小さな液滴を多数生じさせて液滴の微粒化を促進することができる。よってセル表面の液膜から飛散して燃料棒表面に付着する液滴の量が多くなり燃料棒表面の液膜を厚くすることができるので、燃料集合体の限界出力を向上させることができる。すなわち燃料集合体の熱的余裕増大の効果がある。このとき冷却材流れに大きな乱れを与えず燃料棒表面の液膜の飛散を防止でき、また冷却材流路の障害物と

ならないので圧力損失は増加しない。

【0059】また、水平断面が円形の丸セルの下流側端面に複数の切り込みを設けて周方向に少なくとも16個以上の凸部を形成するので、従来に比しより細い液糸を発生させて液滴の微粒化を促進させることができる。また凸部の数で液糸の数を調整し微粒化の程度を制御することができる。さらに、略三角形の切り込みを設け下流側端面を波型形状とした丸セルの外径をD、凸部の数をN、切り込みの深さをHとしたとき、 $H \geq \pi \times D / N$ であるように構成するので、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進が図れる。また、略矩形の切り込みを設け下流側端面を櫛型形状とした丸セルの外径をD、凸部の数をN、切り込みの深さをHとしたとき、 $H \geq 0.5 \times \pi \times D / N$ であるように構成するので、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進が図れる。また切り込みが略矩形であるので略三角形の場合に比し製作が容易でコストを低減できる。さらに、水平断面が正方形の格子状セルの下流側端面に複数の切り込みを設けて互いに2mm未満の中心線間隔で凸部を形成するので、従来に比しより小さな間隔で多数の液糸を発生させ、液滴の微粒化を促進することができる。また凸部の数で液糸の数を調整し微粒化の程度を制御することができる。また、略三角形の切り込みを設け下流側端面を波型形状とした格子状セルの切り込みの深さを2mm以上とするので、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進を図るとともに、切り込みの深さをセルの流れ方向の長さの1/2より小さいよう構成するので、セルの強度を確保できる。さらに、略矩形の切り込みを設け下流側端面を櫛型形状とした格子状セルの切り込みの深さを1mm以上とするので、液膜を確実に分裂させ液滴の微粒化促進を図るとともに、切り込みの深さをセルの流れ方向の長さの1/2より小さいよう構成するので、セルの強度を確保できる。また切り込みが略矩形であるので略三角形の場合に比し製作が容易でコストを低減できる。また、周方向一列に複数の突起を設けるので、切り込みを入れる場合に比しセルの表面積が変わらずセルの強度を保つことができる。さらに、セルの側面に、周方向一列に少なくとも16個以上の突起を設けるので、従来に比しより細い液糸を発生させて液滴の微粒化を促進させることができる。また、突起のそれぞれはセルの側面に切り込みを入れて内側から押し出されるので形成されているので、圧力損失をほとんど増加させることなくかつ簡易な構造で液膜の流れを周方向に分割し液膜を分裂させることができる。さらに、液膜分裂手段として、セルの側面のうち少なくとも下流側部分を冷却材の流れ方向に凹凸が繰り返される形状に形成する手段を設けるので、セル側面の凹凸形状の周期を短くして液滴をより小さくし、微粒化を促進することができる。また切り込みを入れる場合に比し、セルの表面積が変わらないので強度を保つことができる。また、セルの側面を疎水性材料でコーティングするので、

セルの表面が液膜をはじいて液膜分裂手段によって液膜が分裂しやすくする。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例のスペーサにおける丸セルの側面図である。

【図2】沸騰水型原子炉の燃料集合体の一例を示す縦断面図である。

【図3】スペーサの上面図である。

【図4】丸セルの上面図である。

【図5】セル側面に付着した冷却材の液膜の挙動を示す図である。

【図6】気流中の液滴の挙動を示す図である。

【図7】本発明の第2の実施例におけるスペーサの上面図である。

【図8】格子状セルの上面図である。

【図9】格子状セルの部分拡大図である。

【図10】本発明の第3の実施例のスペーサにおける丸セルの上面図である。

【図11】丸セルの側面図である。

【図12】本発明の第4の実施例のスペーサにおける丸セルの上面図である。

【図13】丸セルの側面図である。

【図14】本発明の第5の実施例のスペーサにおける丸セルの側面図である。

【図15】丸セルの部分縦断面図である。

【図16】本発明の第6の実施例の燃料集合体の縦断面図である。

【図17】燃料集合体の横断面図である。

【図18】スペーサの上面図である。

【符号の説明】

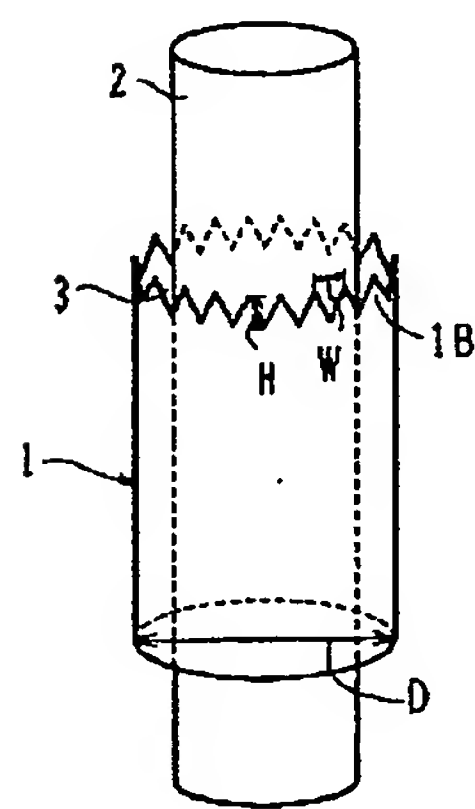
- 1 丸セル
- 1B 凸部（液膜分裂手段）
- 2 燃料棒
- 3 切り込み
- 11 燃料集合体
- 14 スペーサ
- 21 格子状セル
- 21B 凸部（液膜分裂手段）
- 23 切り込み
- 31 丸セル
- 31B 凸部（液膜分裂手段）
- 33 切り込み
- 41 丸セル
- 41C 突起（液膜分裂手段）
- 51 丸セル
- 51D 溝（液膜分裂手段）
- D 丸セルの径
- H 切り込みの深さ
- N 凸部の数
- W 切り込みの幅

【図1】

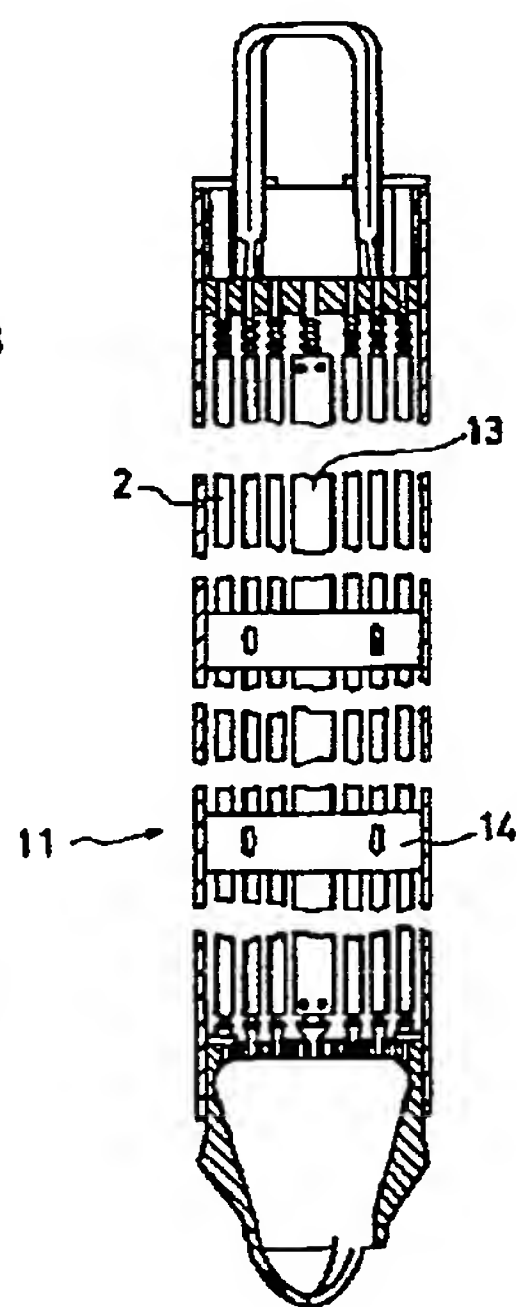
【図2】

【図3】

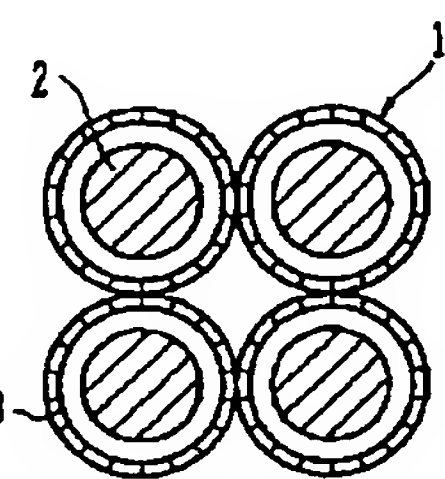
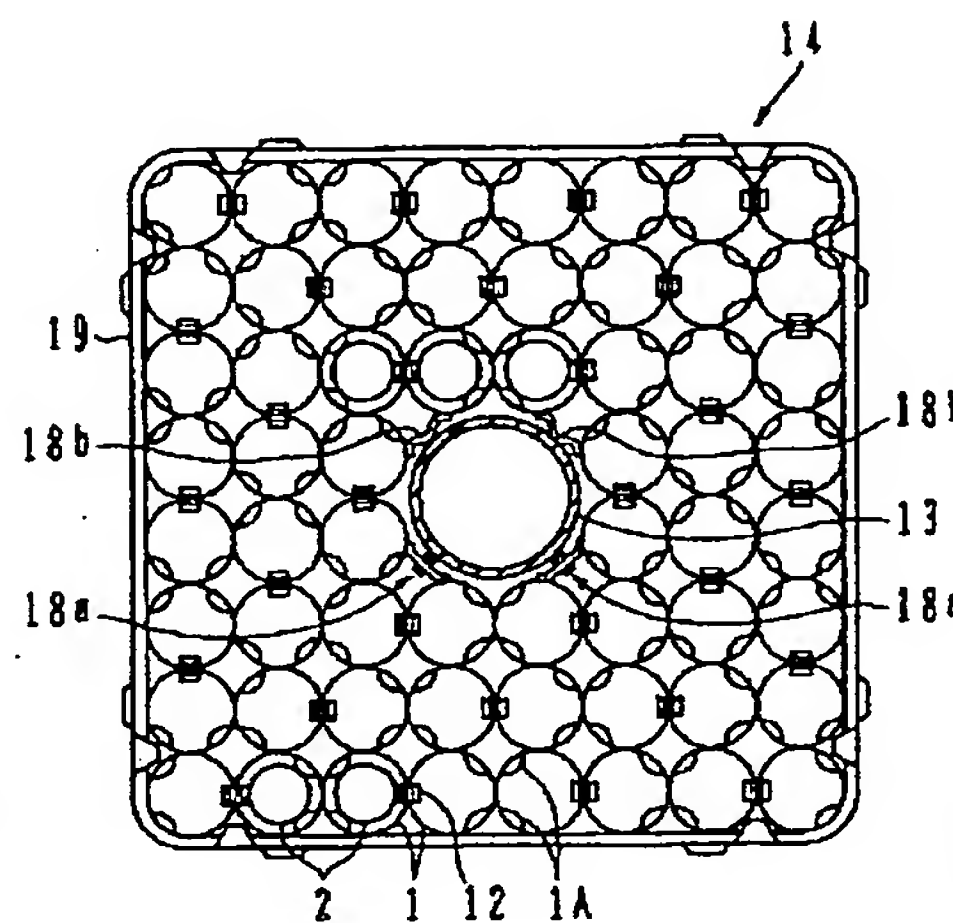
【図4】



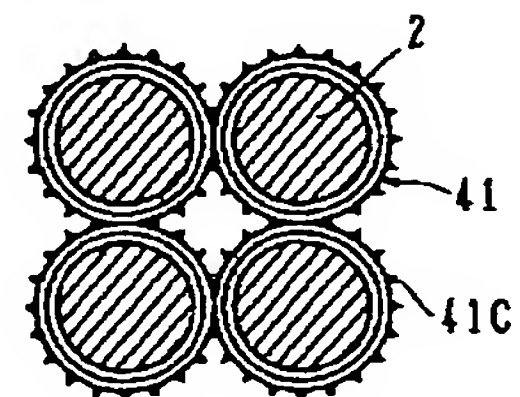
- 1: 丸セル
- 1B: 凸部（液膜分裂手段）
- 2: 燃料棒
- 3: 切り込み
- D: 丸セルの径
- H: 切り込みの深さ
- W: 切り込みの幅



- 11: 燃料集合体
- 14: スペーサ

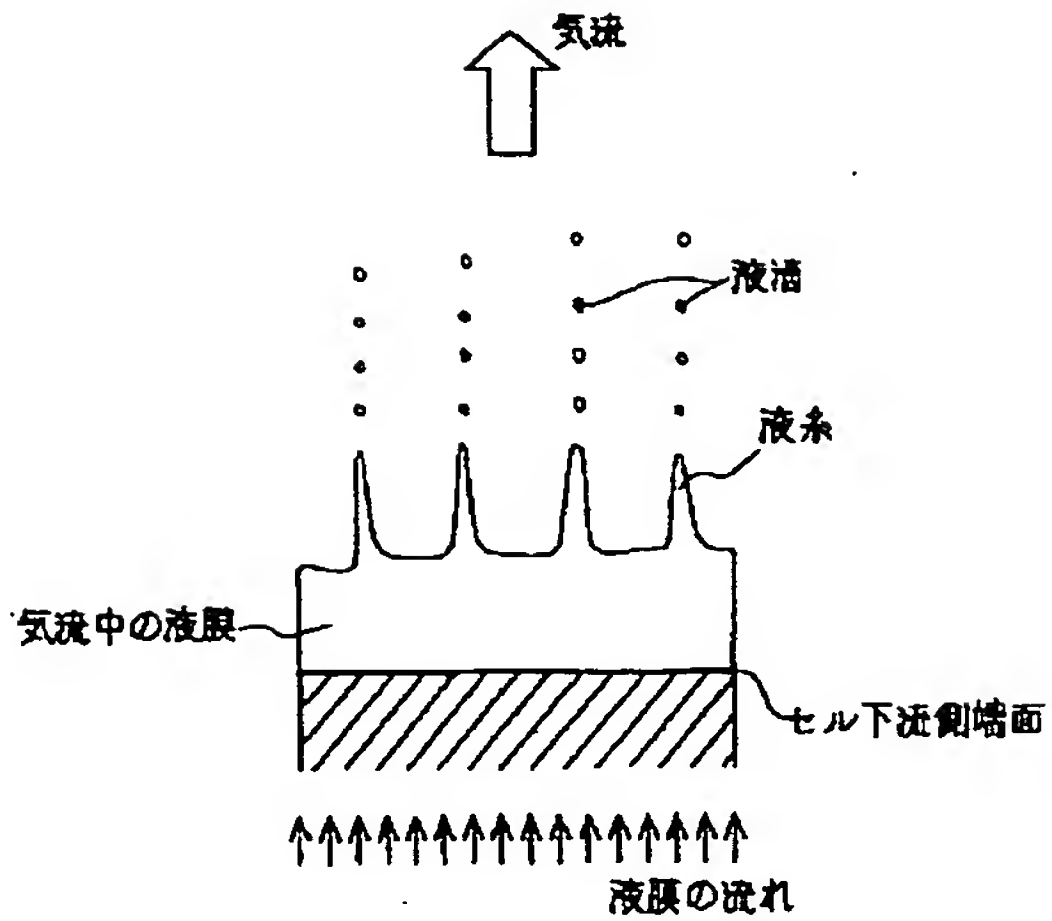


【図12】

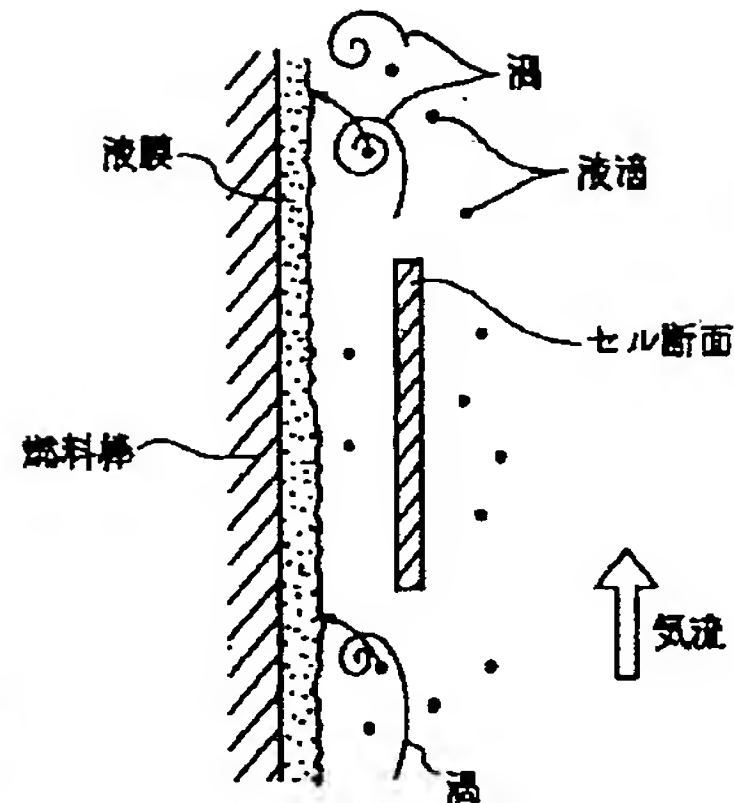


41: 丸セル

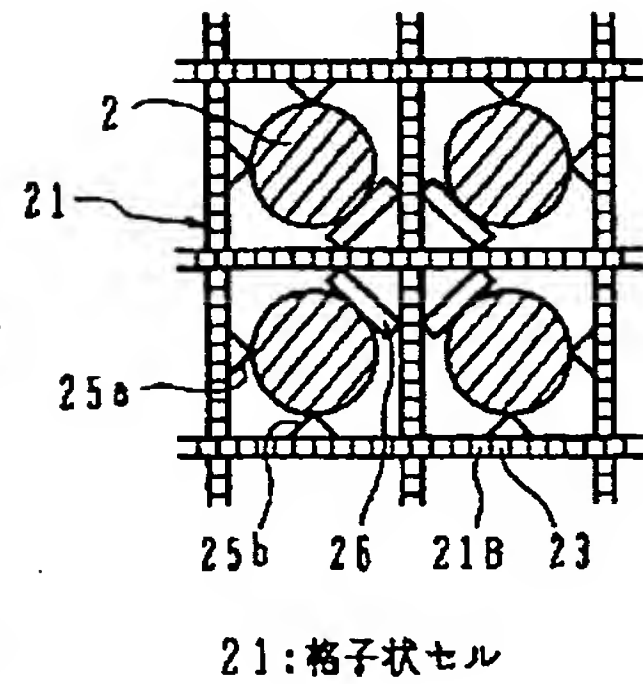
【図5】



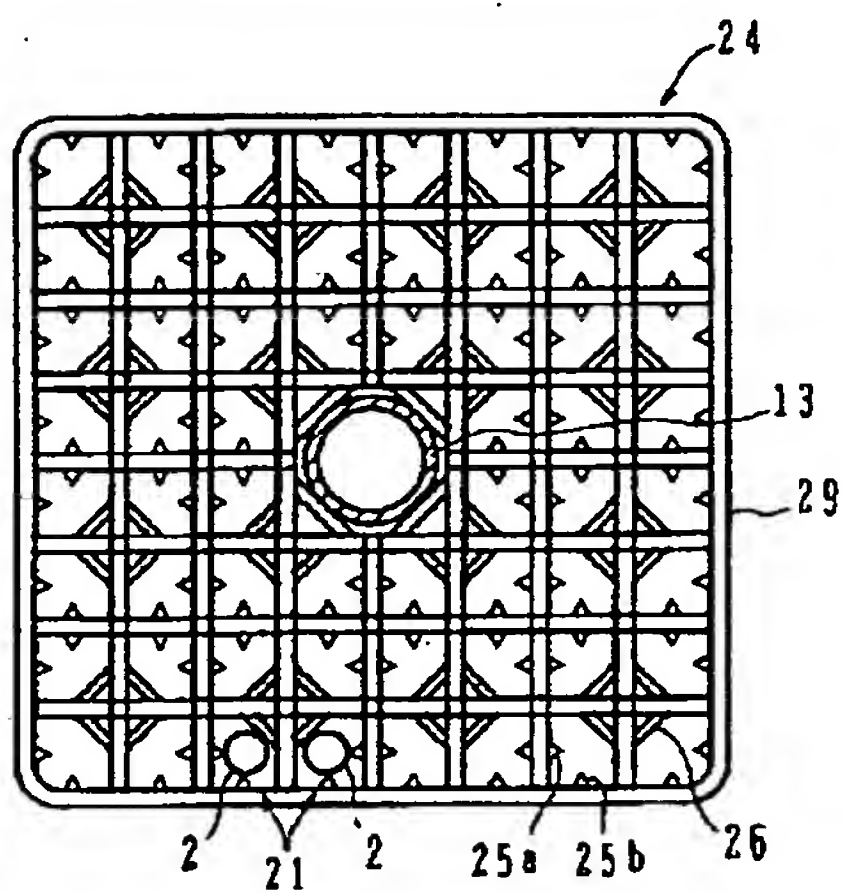
【図6】



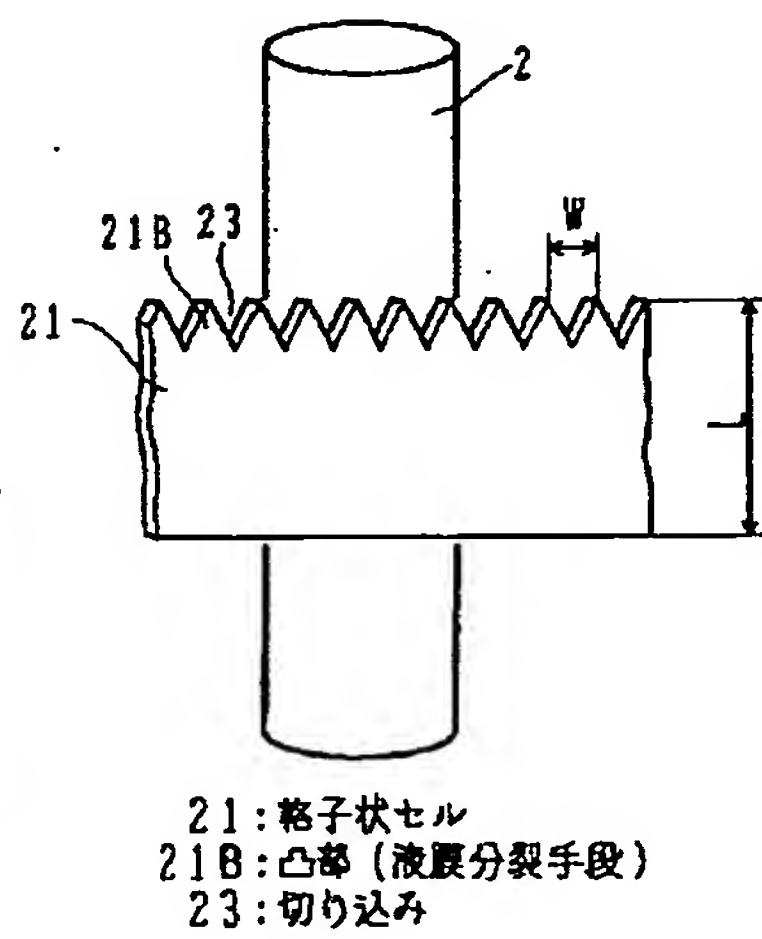
【図8】



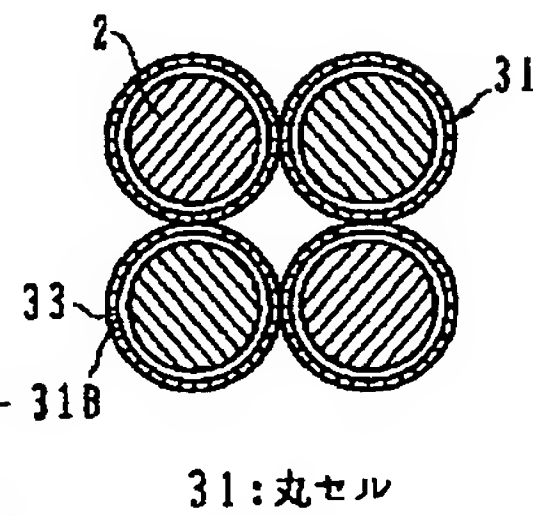
【図7】



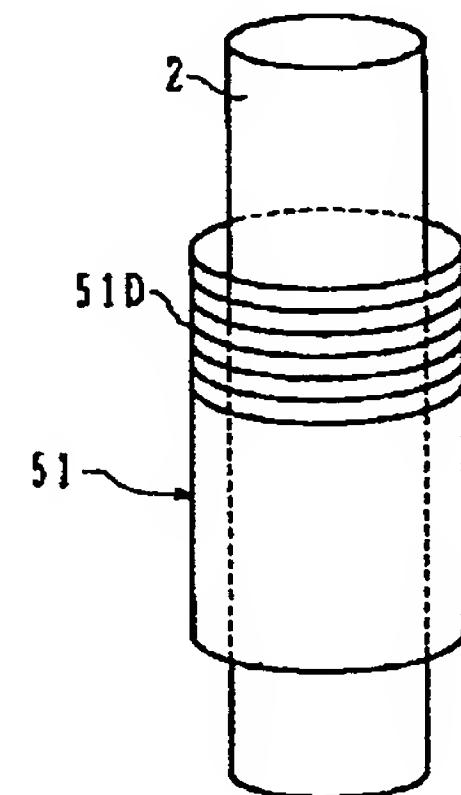
【図9】



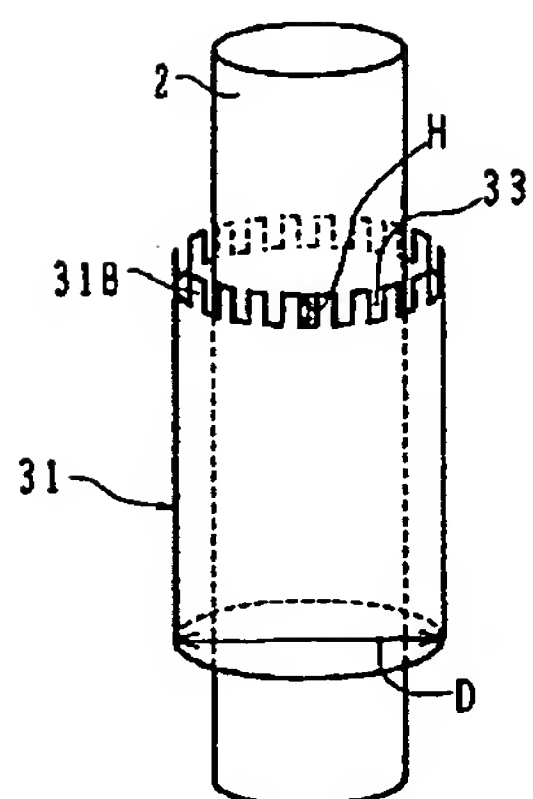
【図10】



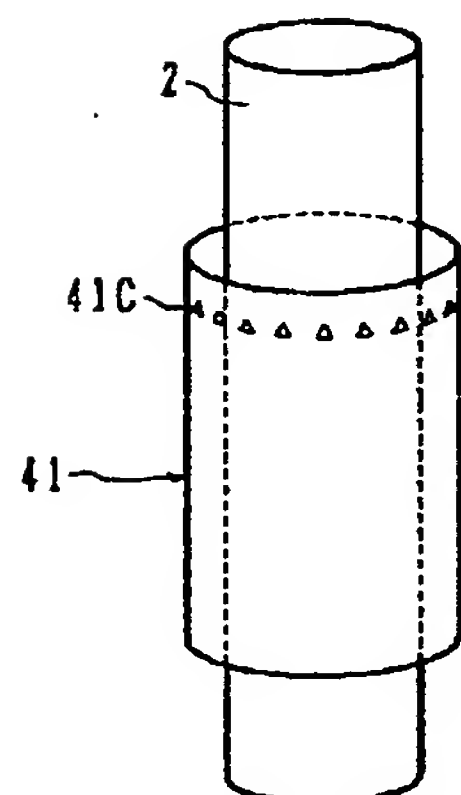
【図14】



【図11】



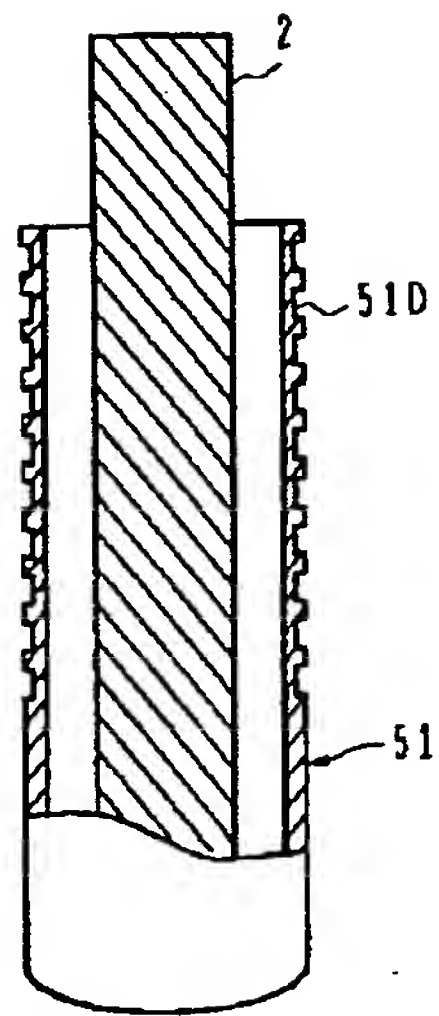
【図13】



31: 丸セル
31B: 凸部 (液膜分裂手段)
33: 切り込み

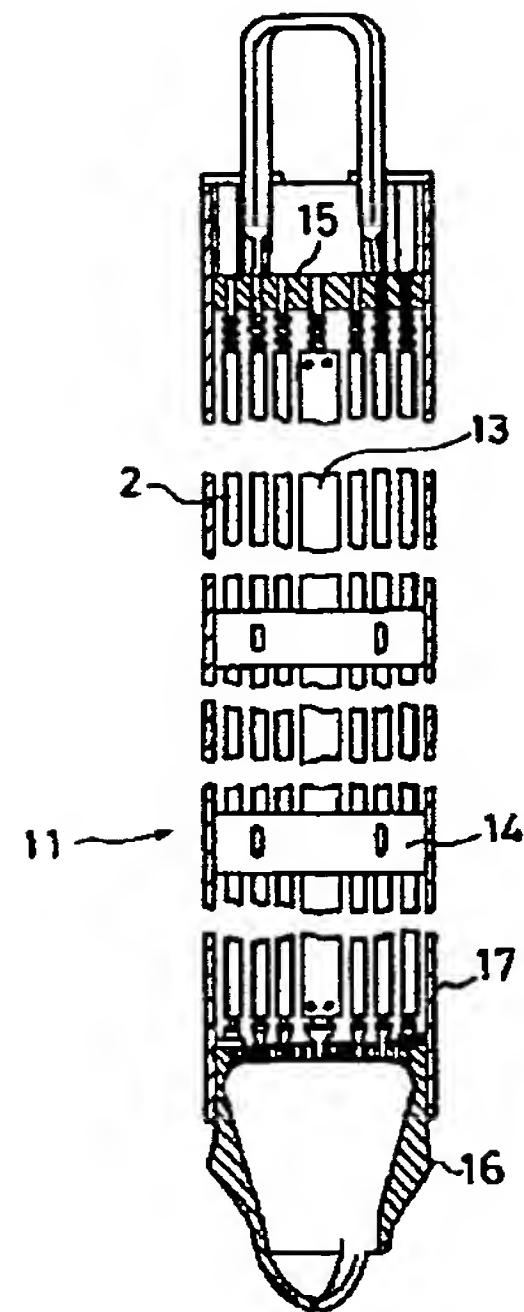
41: 丸セル
41C: 突起 (液膜分裂手段)

【図15】

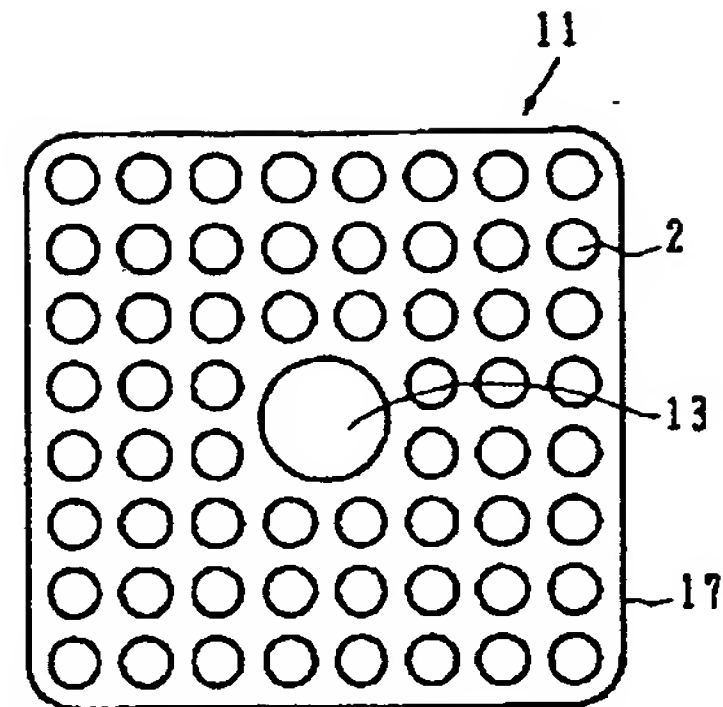


51:丸セル
51D:溝(液膜分裂手段)

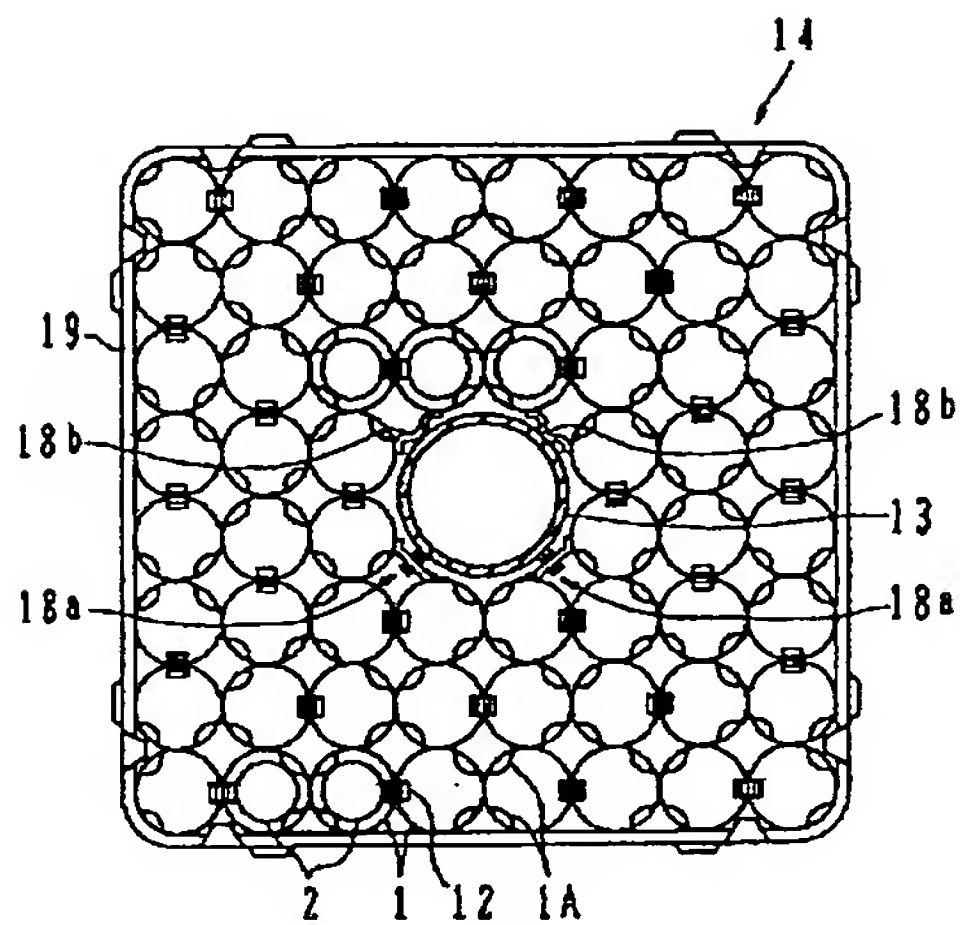
【図16】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 日高 政隆
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株
式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72)発明者 柏井 進一
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株
式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72)発明者 折井 明仁
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株
式会社日立製作所エネルギー研究所内